

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

С.О. Козерук

ПРОЕКТУВАННЯ АКУСТИЧНИХ ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ

РОЗРАХУНОК ДЕТЕКТОРА АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний наочний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 171 «Електроніка»,
освітньою програмою «Акустичні електронні системи та технології обробки
акустичної інформації»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

Рецензент: *Прокопенко Ю.В., д.т.н., проф., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського*
Відповідальний
редактор: *Дрозденко О.І., к.т.н, доц.*

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № X від DD.MM.YYYY р.)
за поданням Вченої ради факультету електроніки (протокол № X від DD.MM.YYYY р.)*

Електронне мережне навчальне видання

Козерук Сергій Олександрович, к.ф.-м.н., доц.

ПРОЕКТУВАННЯ АКУСТИЧНИХ ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ РОЗРАХУНОК ДЕТЕКТОРА АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Проектування акустичних приладів та систем: навчальний посібник до виконання практичних робіт. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка» освітньої програми «Акустичні електронні системи та технології обробки акустичної інформації» / С.О. Козерук; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,XX Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 25 с.

Навчальний посібник відповідає навчальній програмі кредитного модуля «Проектування акустичних приладів та систем», забезпечує проведення практичних та самостійних занять з дисципліни. Практичні роботи направлені на засвоєння теоретичних знань з розрахунку, побудови та комп'ютерного моделювання прийомних каналів акустичних інформаційних систем у програмному середовищі Matlab. Наведені теоретичні основи, приклади розрахунків та методики проведення комп'ютерного моделювання типового каналу виявлення сигналів. Мета посібника – організація ефективного викладання і сприймання студентами навчальної інформації.

© С.О. Козерук 2020
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020

Зміст

Вступ

1.Виявлення слабкого шумового сигналу приймачем - типовим каналом виявлення	6
2.Комп'ютерне моделювання процесу детектування шумового сигналу приймачем – типовим каналом виявлення	12
3.Детектування імпульсного сигналу типовим каналом виявлення	15
4.Комп'ютерне моделювання процесу детектування імпульсного сигналу	18
Додаток 1.....	21

Вступ

У першій частині навчального посібника (НП) розглянуті типові прикладні інформаційні задачі гідроакустики (скритне спостереження за підводною обстановкою), атмосферної акустики (локалізація літальних апаратів, звукова розвідка) та біоакустики (медична діагностика дихання та кровообігу). Виявлення і пеленгування випромінюючих звук об'єктів та процесів ведеться методами акустичної пасивної локації, які були розглянуті раніше в дисципліні «Акустичні інформаційні системи». На вхід приймача разом з корисним сигналом поступає акустична завада. Так як об'єкт спостереження не відомий то і характеристики сигналу (амплітуда, частота, фаза) невідомі та випадкові. В більшості випадків корисний акустичний сигнал можна представити нормальним випадковим процесом. Отримання інформації про об'єкт або процес зводиться спочатку до виявлення сигналу замаскованого завадою. Детектування сигналу ведеться з використанням критерію Неймана-Пірсона. Згідно критерію система виявлення повинна мати наперед задану умовну вірогідність хибної тривоги, та забезпечити максимальне значення умовної вірогідності правильного виявлення. Критерій вважається виконаним коли параметр виявлення (відношення сигнал/завада на вході приймача) забезпечує виконання вказаної умови. Пристрої виявлення (детектори) складаються з приймача акустичних сигналів та пристрою прийняття рішення. Акустичні детектори можуть реалізовувати некогерентні та когерентні алгоритми обробки сигналів. До простіших детекторів, які реалізують некогерентну обробку, відносяться пристрої побудовані по схемі: - «Смуговий фільтр» - «Детектор»- «Фільтр нижніх частот» - «Компаратор». Смуговий фільтр налаштовується на смугу частот інформаційного сигналу. Детектор може бути квадратичний або лінійний. ФНЧ- реалізує інтегрування процесу, який подається на компаратор. При перевищенні вхідним процесом значення порога компаратора з'являється електрична «1», яка і вказує на виявлення сигналу.

Такі приймачі називають приймачами побудованими по схемі типового каналу виявлення (ТКВ).

У НП приведені приклади розв'язання задач детектування об'єктів акустичного випромінювання детекторами побудованими по схемі ТКВ. Дана постановка задачі та теоретичне обґрунтування пошуку рішення. Приведені структурні схеми та пояснення функціонування приймачів. Розглянуто приклади побудови віртуальних моделей прийомних каналів – ТКВ у програмному середовищі Matlab. Приведена методика досліджень ТКВ в програмному пакеті візуального моделювання Simulink.

1.Виявлення слабкого шумового сигналу приймачем – типовим каналом виявлення

Мета роботи: Ознайомитись з побудовою та функціонуванням типового каналу виявлення для детектування акустичних шумових сигналів. Розрахувати характеристики виявлення та встановити правило прийняття рішення про наявність сигналу.

Задача. Виявити слабкий шумовий сигнал з ефективною смугою частот Δf приймачем, типовим каналом виявлення (ТКВ) - квадратичним детектором. Розрахувати і побудувати криві ХВ шумового сигналу для умовної вірогідності хибної тривоги F . Розрахувати С/З на виході ТКВ. Встановити правило прийняття рішення.

1.1.Теоретичні викладки

Для виявлення акустичних сигналів в гідроакустиці [1-4] часто застосовують типовий канал виявлення (ТКВ). В залежності від налаштування ТКВ називають квадратичним або лінійним детекторами. Квадратичний детектор (КД) (рис.1.1) має переваги перед лінійним при виявленні слабких сигналів. ТКВ з успіхом застосовується для детектування джерел випромінювання у повітрі.

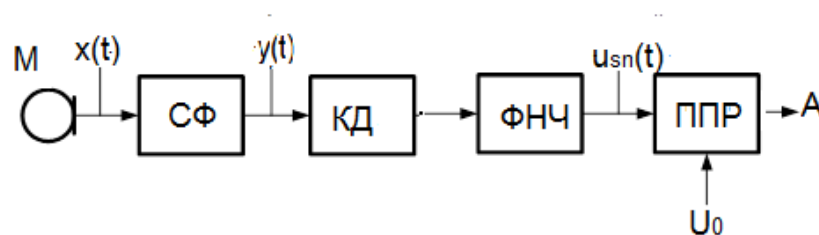


Рис.1.1. Схема ТКВ.

Розглянемо побудову та функціонування ТКВ [5,6] побудованого по схемі квадратичного детектора (рис.1.1). З мікрофона (М) на вхід смугового фільтра (СФ) поступає адитивна суміш $x(t) = s(t) + n(t)$ шумового сигналу випромінювання $s(t)$ та акустичної завади $n(t)$. Завада і сигнал є випадковими нормальними стаціонарними процесами з нульовими математичними очікуваннями. Процеси між собою некорельовані. Випадковий процес $y(t)$ на виході СФ теж стаціонарний та нормальний, характеризується нульовим математичним очікуванням і дисперсіями: $\sigma_n^2, \sigma_s^2, \sigma_{sn}^2$ - завади, сигналу та суміші відповідно. Враховуючи некорельованість сигналу та завади запишемо дисперсію суміші на виході СФ: $\sigma_{sn}^2 = \sigma_s^2 + \sigma_n^2$. Після обробки $y(t)$ в квадратичному детекторі (КД) і ФНЧ на виході останнього отримаємо низькочастотні напруги $u_n(t), u_{sn}(t)$ для ситуацій відсутності та наявності сигналу на вході ТКВ відповідно.

Відношення сигналу до завади (С/З) q_2 на виході ФНЧ за час інтегрування T визначається приростом середнього значення $\Delta U_{sn}(T)$ до середньоквадратичного значення $U_\sigma(T)$ вихідної напруги $u_{sn}(t)$:

$$q_2 = \frac{\Delta U_{sn}(T)}{U_\sigma(T)} = \frac{q_1^2}{1 + q_1^2} \sqrt{\Delta f T}, \Delta f T \gg 1, q_1^2 = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2}. \quad (1.1)$$

Встановимо правило прийняття рішення про присутність сигналу. Прийняття рішення про присутність сигналу $A=1$, визначається умовою $u_{sn}(t) \geq U_0$ та реалізується в пристрої прийняття рішення (ППР). Значення U_0 знаходиться по заданому значенню ймовірності хибної тривоги F та середньоквадратичного значення U_n на виході ФНЧ у відсутності сигналу:

$$U_0 = U_n \cdot \Phi^{-1}(1 - F),$$

$$\text{де } \Phi^{-1}(l) - \text{функція обернена інтегралу ймовірностей } \Phi(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^l e^{-\frac{l^2}{2}} dl.$$

Ймовірність виявлення D буде залежати від заданої ймовірності F та величини $u_{sn}(t)$ на виході ФНЧ:

$$D = \Phi\left(\frac{u_{sn}(t) - U_0}{U_n}\right). \quad (1.2)$$

Графіки хибної тривоги та ймовірностей (рис.1.2) побудовані з використанням програмного продукту Matlab.

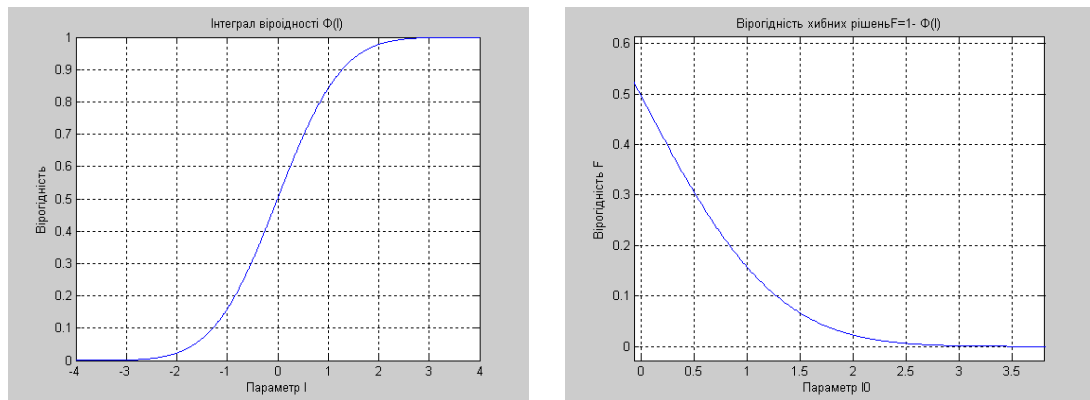


Рис.1.2. Графіки інтегралу ймовірності та хибної тривоги F .

1.2.Розрахунок характеристик ТКВ

Будемо притримуватись наступної послідовності в розрахунках:

Задаємо характеристики шумового сигналу і завади - смугу частот Δf , час спостереження T та вірогідність хибних спрацювань F ;

Розраховуємо ХВ, а саме вірогідність достовірного виявлення D в залежності від відношення C/Z по потужності (q_1^2) на вході, для заданого параметра $M = \Delta f T \gg 1$ та вірогідності хибних спрацювань F ;

Знаходимо $C/Z(q_2)$ на виході ТКВ та завадостійкість приймача;

По ХВ визначаємо вірогідність D для вибраного q_1^2 ;

Встановимо правило прийняття рішення.

Приклад. Виявити шумовий сигнал ТКВ у смузі частот $\Delta f = 1200 \text{ Гц}$, вірогідність хибних спрацювань $F = 10^{-3}$, час спостереження $T = 0.1 \text{ с}$

Налаштування ТКВ. СФ має смугу пропускання $\Delta f = 1200 \text{ Гц}$. Час спостереження $T = 0.1 \text{ с}$ та $T = 1 \text{ с}$.

Розрахунок ХВ. За умовою задачі шумовий процес завади та суміші сигналу і завади є нормальним з нульовим математичним очікуванням. Скористаємось для розрахунку D виразом [3]:

$$D = \Phi\left(\frac{q_1^2 \sqrt{\Delta f T}}{1 + q_1^2} - \frac{\Phi^{-1}(1 - F)}{1 + q_1^2}\right) = \Phi(l) \quad (1.3)$$

Знаходимо значення аргумента l рівняння (1.3) в залежності від параметра q_1^2 , використавши графіки інтегралу ймовірності (рис.1.2) будуюмо ХВ (рис.1.3).

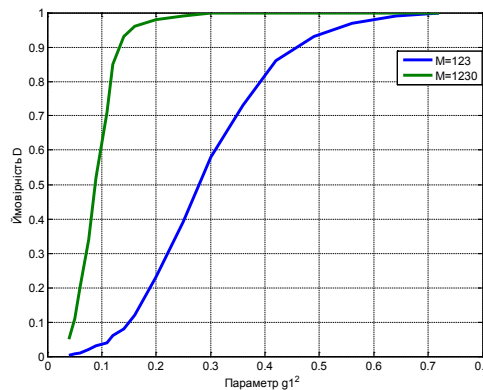


Рис.1.3. Характеристики виявлення для заданих $F = 10^{-3}$ та $M = \Delta f T$.

Аналіз графіків (рис.1.3) дає можливість стверджувати те, що збільшення часу спостереження T збільшує вірогідність виявлення слабких сигналів.

Розрахунок С/З на виході ТКВ з параметрами налаштування $\Delta f = 1200 \text{ Гц}, T = 0.1 \text{ с} \dots \text{та} \dots T = 1 \text{ с}$ для $q_1^2 \leq 1$ ведемо по (1.1). Графік представлено на рис.1.4.

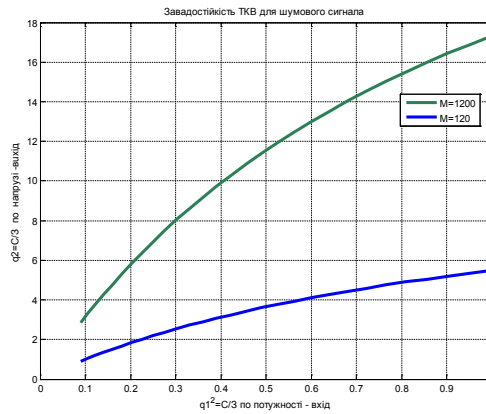


Рис.1.4.Завадостійкість ТКВ

По графікам (рис 1.4) можна розрахувати завадостійкість ТКВ. Для малого шумового сигналу завадостійкість ТКВ $Q = q_2 / q_1$ зростає із збільшенням $C/3$ на вході приймача та ростом параметра $M = \Delta f T$.

Оцінка достовірності виявлення сигналу. Для вибраного значення $q_1^2 \leq 1$ по графікам рис.1.3 встановимо ймовірність виявлення D .

Правило прийняття рішення. Встановимо правило прийняття рішення для виявлення шумового сигналу. Ефективні вихідні значення напруг сигналу $U_s(T)$, завади $U_n(T)$ та їх суміші $U_{sn}(T)$ дорівнюють дисперсії цих процесів на виході СФ. Скориставшись виразом (1.1) запишемо:

$$q_1^2 = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2} = \frac{\sigma_{sn}^2}{\sigma_n^2} - 1 = \frac{U_{sn}(T)}{U_n(T)} - 1.$$

Звідки встановимо правило прийняття рішення:

$$U_{sn}(T) \geq (1 + q_1^2) U_n(T) \quad (1.4)$$

1.3.Завдання.

1.3.1.Використавши вираз (1.3) та графіки інтегралу ймовірності та хибної тривоги (рис.1.2) побудувати графіки ХВ для $F = 10^{-4}$ та

$M = 100, 1000$. По графікам оцінити достовірність виявлення сигналу D для малих значень параметру q_1^2 .

1.3.2. Розрахувати характеристики виявлення та параметри налаштування блоків ТКВ для шумового сигналу із смугою частот $\Delta f = 2000 \text{ Гц}$, хибними спрацюваннями $F = 10^{-3}$.

2. Комп'ютерне моделювання процесу детектування шумового сигналу приймачем – типовим каналом виявлення

Мета роботи: Побудувати комп'ютерну модель типового каналу виявлення в програмному середовищі Matlab для задачі розглянутої в лабораторній роботі №1. Провести модельний експеримент і дослідити процес виявлення шумових сигналів для різних значень параметра виявлення. Визначити C/Z на виході ТКВ для вибраного значення C/Z на вході приймача. Порівняти отримані результати з розрахунками проведеними в лабораторній роботі № 1

2.1.Рекомендації до виконання

Пакет візуального моделювання Simulink програмного середовища Matlab дає можливість створювати імітаційні моделі, які відображають побудову, зв'язки та основні технічні характеристики реальних інформаційних систем. Імітаційне моделювання дозволяє, змінюючи побудову та параметри моделі, дослідити процеси які в них проходять та оптимізувати їх характеристики. Для виконання робіт по комп'ютерному дослідженню властивостей сигналів треба володіти основами програмування [7] та імітаційного моделювання [8] у програмному середовищі Matlab. Загальні відомості по програмному пакету візуального моделювання Simulink приведені в Додатку 1. За основу імітаційної моделі (рис.2.1.) візьмемо схему ТКВ (рис.1.1)

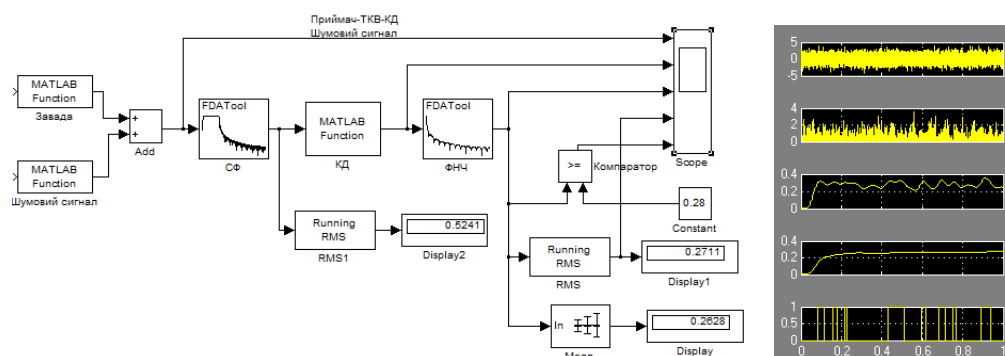


Рис.2.1. Імітаційна модель ТКВ

Імітаційна модель побудована з використанням блоків бібліотеки Simulink. Блоки «Завада» та «Шумовий сигнал» генерують випадкові процеси які після складання поступають на блоки «СФ» , «КД»,»ФНЧ». З виходу останнього результат подається на блок порівняння «Компаратор», який виконує функцію пристрою прийняття рішення. Для спостереження та вимірювання результатів обробки використовуються віртуальні блоки «Осцилограф» та вимірювачі ефективного і середнього значень процесу.

2.2.Проведення модельного експерименту

1.Налаштувати параметри блоків ТКВ відповідно до умов задачі. Встановити смугу частот пропускання «СФ» $\Delta f = 1200 \text{ Гц}$, частоту зрізу «ФНЧ» взяти 10 Гц ($T=0.1 \text{ с}$).

2.Задавшись параметром виявлення розрахувати параметри блоків «Завада» і «Шумовий сигнал». Наприклад, поклавши $q_1^2 = (U_s / U_n)^2 = 0.2$ отримаємо $U_n = 1; U_s = 0.45$ відповідно.

3.Розрахувати параметри на виході СФ ($U_{\text{СФ}}$) і ФНЧ($U_{\text{ФНЧ}}$) по заданим ефективним значенням вхідного процесу U :

$$\begin{aligned} U_{\text{СФ}} &= U \sqrt{\Delta f / f_B} \dots de \dots f_B = 0.5 f_d; f_d = \text{частота} \dots \text{дискрет}; \\ U_{\text{ФНЧ}} &= U^2 \Delta f / f_B \end{aligned} \quad (2.1)$$

4.Провести модельний експеримент спочатку тільки для завади встановивши параметри блоків «Завада» і «Шумовий сигнал» - $U_n = 1; U_s = 0$ відповідно. Визначити по віртуальним приладам ефективні значення напруг після СФ та ФНЧ. Встановити порогове значення «Компаратора» $U_0 = (1 + q_1^2) U_n^{\text{ФНЧ}}$. Провести експеримент на хибні спрацювання методом простої випадкової вибірки. Метод полягає в тому, що число прогонів моделі по кожному з рівнів діючих факторів проводяться до тих пір, поки буде отримана необхідна точність.

5.Провести модельний експеримент для суміші завади та сигналу збільшуючи параметр виявлення до $q_1^2 = 0.7$ встановлюючи параметри блоків «Завада» і «Шумовий сигнал» - $U_n = 1; U_s = 0.45, 0.65, 0.85$ відповідно. Величину порогу не змінювати $U_0 = 1.2U_n^{\Phi_{HЧ}}$. Дати оцінку достовірності виявлення сигналу. Порівняти з розрахунковими.

6.По віртуальним приладам визначити ефективні значення напруг після СФ та ФНЧ. Розрахувати С/З після ФНЧ по формулі:

$$q_2 = \Delta U_{sn}^{\Phi_{HЧ}} / U_{\sigma}^{\Phi_{HЧ}}, \quad (2.2)$$

де $\Delta U_{sn}^{\Phi_{HЧ}}$ –приріст постійної складової на виході ФНЧ у присутності сигналу; $U_{\sigma}^{\Phi_{HЧ}}$ змінна складова на виході ФНЧ. Порівняти результати вимірів з розрахунками(рис.1.4).

2.3.Висновки.

Зробити висновки порівнявши теоретичні результати (Лаб.№1) з модельним експериментом.

2.4.Завдання.

Побудувати комп'ютерну модель ТКВ в програмному середовищі Matlab для завдання 1.3.2 розглянутого в лабораторній роботі №1. Провести дослідження процесу виявлення шумових сигналів для різних значень параметру виявлення. Оцінити достовірність виявлення сигналу D для малих значень параметру q_1^2 .

3. Детектування імпульсного сигналу типовим каналом виявлення

Мета роботи: Ознайомитись з побудовою та функціонуванням типового каналу виявлення для детектування акустичних імпульсних радіосигналів. Розрахувати характеристики виявлення та встановити правило прийняття рішення про наявність сигналу.

Задача. Виявити радіоімпульс $s(t) = U_{ms} \cos \omega_0 t$ тривалістю T , замаскований нормальною завадою $n(t)$ з нульовим математичним очікуванням і дисперсією σ_n^2 . Розрахувати С/З на виході ТКВ та побудувати криві ХВ сигнала для заданого значення хибної тривоги F .

3.1. Теоретичні викладки

На вхід ТКВ (рис.1.1) подається суміш сигналу та завади $x(t) = s(t) + n(t)$. На виході ТКВ присутні низькочастотні напруги $u_n(t), u_{sn}(t)$ для ситуацій відсутності та наявності сигналу на вході ТКВ відповідно. Нехай в момент $t=T$ напруга $u_{sn}(t)$ має нормальний закон розподілу. Нормалізація процесу на виході ТКВ [1,3] визначена тим, що за час T проходить складання великої кількості значень випадкового процесу. Умова нормалізації процесу на виході ФНЧ:

$$T \gg \tau_{kor} = \begin{cases} 1 / (4\Delta f), q_1 \ll 1 \\ 1 / (2\Delta f), q_1 \gg 1, \end{cases} \quad \text{тобто } M = \Delta f T \gg 1 \quad (3.1)$$

Присутність сигналу в суміші визначає приріст постійної складової на виході ТКВ в момент закінчення сигналу T . Відношення С/З на виході ФНЧ розраховують відношенням приросту середнього значення напруги $\Delta U_{sn}(T)$ до СКВ флуктуації $U_\sigma(T)$ процесу $u_{sn}(t)$.

Для ТКВ - СФ (з прямокутною АЧХ) – КД – ФНЧ (ідеальний інтегратор):

$$q_2 = \frac{\Delta U_{sn}(T)}{U_{\sigma}(T)} = \frac{q_1^2}{\sqrt{1+q_1^2}} \sqrt{\Delta f T} \rightarrow q_1^2 \leq 1 \quad (3.2)$$

$$q_2 = \frac{q_1}{\sqrt{2}} \sqrt{\Delta f T} \rightarrow q_1^2 \gg 1$$

$$q_1^2 = \frac{U_{ms}^2}{2\sigma_n^2} \quad (3.3)$$

ХВ радіо сигналу записується[3]:

$$D = \Phi\left(\frac{q_1^2 \sqrt{\Delta f T}}{\sqrt{1+2q_1^2}} - \frac{\Phi^{-1}(1-F)}{\sqrt{1+2q_1^2}}\right) \quad (3.4)$$

Приведемо співвідношення для ТКВ - лінійного детектора(ЛД).

Параметр q_2 та ХВ радіосигналу ТКВ: СФ (з прямокутною АЧХ) – ЛД-ФНЧ(ідеальний інтегратор), записується:

$$q_2 = q_1^2 \sqrt{\Delta f T}, q_1^2 \leq 1$$

$$D = \Phi(q_1^2 \sqrt{\Delta f T} - \Phi^{-1}(1-F)), q_1^2 \leq 1 \quad (3.5)$$

Для сильного сигналу $q_1^2 \gg 1$:

$$q_2 = \frac{q_1}{2} \sqrt{\Delta f T}, q_1^2 \gg 1$$

$$D = \Phi\left(q_1 \sqrt{2\Delta f T} - \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{2}} \Phi^{-1}(1-F)\right), q_1^2 \gg 1 \quad (3.6)$$

Аналіз (3.2), (3.5) та (3.6) дає можливість зробити висновок - для слабого сигналу ($q_1^2 \leq 1$) параметр q_2 (С/З на виході ТКВ) з ЛД більший ніж у КД в $\sqrt{1+q_1^2}$ раз. ХВ для КД і ЛД практично однакові.

3.2. Розрахункова частина

Приклад. Виявити радіоімпульс $s(t) = U_{ms} \cos \omega_0 t$ тривалістю $T=0.1\text{с}$, частота заповнення $f_0 = 500\text{Гц}$. Імпульс замаскований нормальною завадою $n(t)$ з нульовим математичним очікуванням і дисперсією σ_n^2 . Розрахувати $C/3$ на виході ТКВ-КД та побудувати криві ХВ сигналу для $q_1^2 \leq 1$ та значення хибної тривоги F

Розрахунок ($C/3$) на виході ТКВ-КД для параметра $q_1^2 \leq 1$. Налаштуємо ТКВ з урахуванням (3.1), встановимо смугу пропускання СФ $\Delta f = 40\text{Гц}$, $T = 0.1\text{с}; T = 0.25\text{с}$. Розрахунки q_2 ведемо для значень $0.1 \leq q_1^2 \leq 1$ по (3.2). Отримаємо криві для параметру $M = \Delta f T = 4, 10$ (рис.3.1)

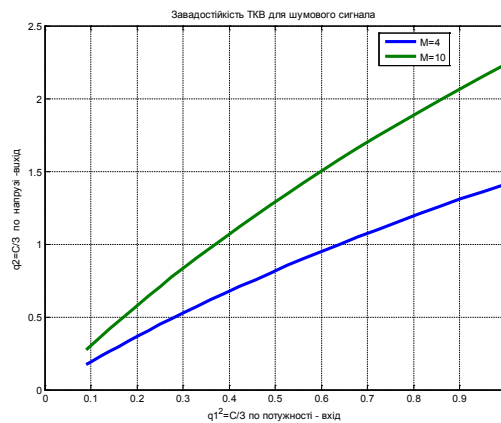


Рис.3.1. Завадостійкість ТКВ для радіоімпульсу для налаштування $M = 4; 10$.

Можна стверджувати, що завадостійкість $Q = q_2 / q_1$ зростає із збільшенням $C/3$ на вході приймача і ростом параметра M .

3.3. Завдання

Використати методику розрахунку ХВ приведену в лабораторній роботі №1 провести розрахунки та побудувати графіки ХВ КД та ЛД для слабких сигналів $0.1 \leq q_1^2 \leq 1$ та $F = 10^{-3}$ по формулам (3.4), (3.5).

4.Комп'ютерне моделювання процесу детектування імпульсного сигналу

Мета роботи: Побудувати комп'ютерну модель типового каналу виявлення в програмному середовищі Matlab для виявлення радіоімпульсу. Провести імітаційне моделювання процесу виявлення. Порівняти результати моделювання з теоретичними розрахунками.

Задача. Виявити радіоімпульс $s(t) = U_{ms} \cos \omega_0 t$ тривалістю $T=0.1\text{с}$, частота заповнення $f_0 = 500\text{Гц}$. Імпульс замаскований нормальною завадою $n(t)$ з нульовим математичним очікуванням і дисперсією σ_n^2 . Розрахувати С/З на виході ТКВ та побудувати криві ХВ сигнала для заданого значення хибної тривоги F .

4.1.Рекомендації до виконання

Пакет візуального моделювання Simulink програмного середовища Matlab дає можливість створювати імітаційні моделі(ІМ), які відображають побудову, зв'язки та основні технічні характеристики реальних інформаційних систем. Імітаційне моделювання дозволяє, змінюючи побудову та параметри моделі, дослідити процеси які в них проходять та оптимізувати їх характеристики. Для виконання робіт по комп'ютерному дослідженню властивостей сигналів треба володіти основами програмування [7] та імітаційного моделювання [8] у програмному середовищі Matlab. Загальні відомості по програмному пакету візуального моделювання Simulink приведені в Додатку 1.За основу імітаційної моделі (рис.4.1,4.2) візьмемо схему ТКВ (рис.1.1).

4.2.Проведення модельного експерименту

1.Налаштувати параметри блоків ТКВ відповідно до умов задачі. Встановити параметри «СФ» $\Delta f = 10\text{Гц}$; $f_0 = 500\text{Гц}$; частоту зрізу «ФНЧ» взяти 10Гц .

2. Задавшись параметром виявлення розрахувати параметри блоків «Завада» і «Імпульс». Наприклад, поклавши $q1^2 = (U_s / U_n)^2 = 0.2$ отримаємо $U_n = 1$; $U_s = 0.45$. (Увага, амплітудне значення $U_{ms} = 1.41U_s$)

3.Розрахувати параметри процесів на виході СФ (U_{CF}) і ФНЧ($U_{ФНЧ}$):

$$U_{CF} = U \sqrt{\Delta f / f_B} \dots de \dots f_B = 0.5 f_d; f_d = \text{частота} \dots \text{дискрет};$$

$$U_{ФНЧ} = U^2 \Delta f / f_B$$

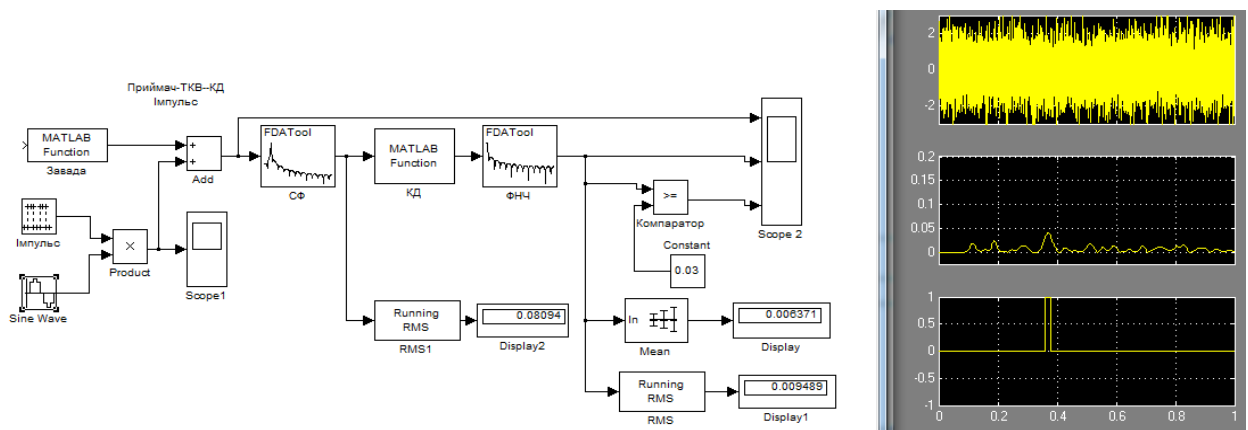


Рис.4.1. ІМ ТКВ та осцилограми процесів у відсутності радіоімпульсу ($U_s = 0$).

4.Провести модельний експеримент спочатку тільки для завади встановивши параметри блоків «Завада» і «Імпульс» - $U_n = 1$; $U_s = 0$ відповідно. Визначити по віртуальним приладам ефективні значення напруг після СФ та ФНЧ. Встановити порогове значення «Компаратора» $U_0 = U_n^{ФНЧ} * l_0$. Параметр $l_0 = 3.1$ знаходимо по графіку $F(l_0)$ (рис.1.2) для $F = 10^{-3}$.

5.Провести експеримент на хибні спрацювання методом простої випадкової вибірки(рис.4.1). Метод полягає в тому, що число прогонів моделі по кожному з рівнів діючих факторів проводяться до тих пір, поки буде отримана необхідний статистичний результат. порівняти теоретичні рахунки

параметрів сигналів після «СФ», «ФНЧ» з результатами модельного експерименту

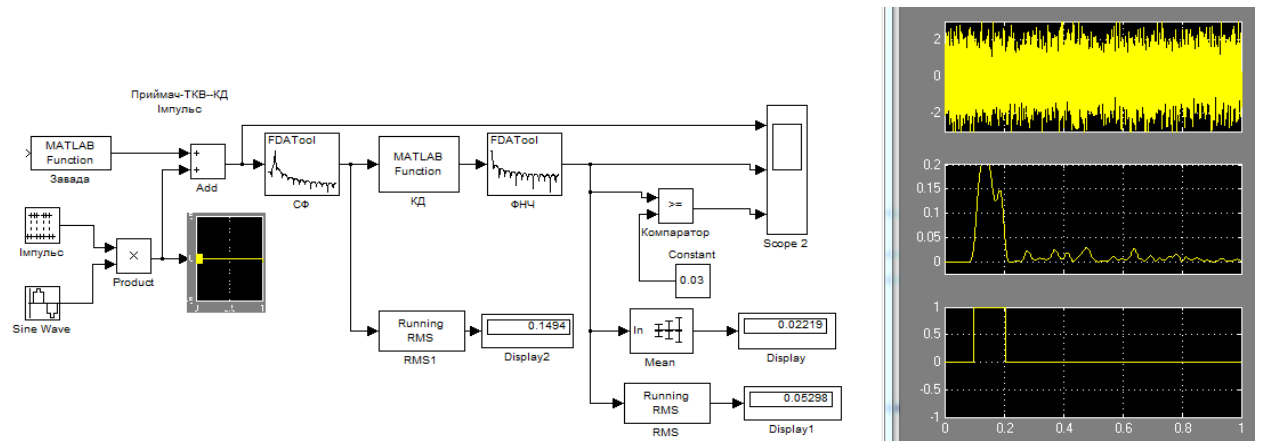


Рис.4.2. ІМ ТКВ та осцилограми процесів у присутності радіоімпульсу $q_1^2 = 0.2$.

6. Провести модельний експеримент для суміші завади та сигналу (рис.4.2) збільшуючи параметр виявлення $q_1^2 = 0.2, 0.3, \dots, 1$. Розрахувати та встановити відповідно параметри блоку «Імпульс». Дати оцінку достовірності виявлення сигналу. Порівняти з теоретичними розрахунками проведеними по (3.4).

4.3.Висновки.

Зробити висновки, порівняти теоретичні рахунки характеристик ТКВ з результатами модельного експерименту.

4.4.Завдання.

Побудувати комп'ютерну модель ТКВ в програмному середовищі Matlab для розглянутої задачі з використанням лінійного детектора. Провести дослідження процесу виявлення імпульсних сигналів для різних значень параметру виявлення. Оцінити достовірність виявлення сигналу D для малих значень параметру q_1^2 . Порівняти з результатами отриманими для КД.

Додаток 1. Деякі відомості по програмному пакету візуального моделювання SIMULINK

Програмний пакет Simulink [8] дозволяє складати, моделювати і аналізувати системи, функціонування яких носить змінний в часі характер. Такі системи називають динамічними. Simulink можна використовувати для дослідження поведінки широкого ряду динамічних систем, включаючи електричні ланцюги, електричні, механічні та термодинамічних систем. Моделювання динамічних систем в Simulink являє собою двоступінчастий процес. На *першій стадії*, використовуючи редактор моделей Simulink, розробник створює графічну модель системи. Ця модель описує математичні співвідношення між входами, виходами і станами системи в часі. На *другій стадії* Simulink використовується для моделювання поведінки системи на певному часовому інтервалі.

Блок - діаграмою називається графічне відображення моделі динамічної системи в Simulink. Блок - діаграма складається з *блоків*, пов'язаних сполучними лініями. Блок - елементарна динамічна система, відома в Simulink. По виду вихідний функції блоки діляться на безперервні і дискретні. Вихідний сигнал дискретних блоків змінюється лише в певні моменти умовного модельного часу, інтервали між якими можуть бути задані для кожного блоку окремо. Такий інтервал називається Sample Time. Вихідний сигнал безперервних блоків, вважається, змінюється безперервно. Насправді ж він змінюється в моменти часу, інтервал між якими - Simulation Step, помітно менше, ніж Sample Time. Ця умова Simulink забезпечує автоматично.

Тип блоку визначає співвідношення між виходами, входами, станами і часом. Блок-діаграма може містити будь-яку кількість будь-яких блоків. Кожен блок Simulink асоціюється з набором функцій, які визначають залежність від часу співвідношень входу, стану і виходу тобто вихідна функція визначає залежність виходу від часу, входу і вектора стану. *Стан* -

це змінна (вектор змінних), яка визначає вихід блоку. Поточне значення змінної зберігає попередні значення станів, з яких обчислюється поточний стан. Блоки з функцією станів називаються блоками з пам'яттю.

Ключові властивості багатьох блоків параметризовані. Для введення і контролю параметрів служать діалогові вікна. Важливими властивостями параметрів блоків є можливість їх завдання у вигляді виразів Matlab, а також можливість інтерактивного їх зміни (регулювання) вже в процесі моделювання. Таким чином, в процесі імітації роботи системи є можливість визначити оптимальні параметри. Для більш швидкого виконання моделювання можна вручну скасувати регулювання параметрів.

Набір стандартних блоків Simulink включає в себе *дискретні і безперервні* блоки. Як було зазначено вище, безперервні блоки дають безперервний відгук на безперервний вхідний сигнал. Дискретні блоки, на відміну від безперервних, відгукуються на зміни вхідного сигналу лише в моменти часу, кратні деякому фіксованому інтервалу - Sample Time. Дискретні блоки тримають сигнал постійним протягом кожного такого одиничного інтервалу. Кожен дискретний блок має власний параметр для установки Sample Time - установки дискретності його вихідного сигналу.

Багато блоків Simulink можуть бути як дискретними так і безперервними. Це залежить від типу блоку, вихід якого приєднаний до входу такого блоку. Такі двоїсті блоки можуть мати параметр, що встановлює тип стану. Параметр встановлюється в «0», якщо хоча б один з входів блоку безперервний або параметр дорівнює найменшому кратному Sample Time, якщо тип стану блоку дискретний.

Існує поняття постійного Sample Time, яке приймається рівним нескінченності. (Мається на увазі, що параметри блоку - вхід, вихід, стан - не змінюються під час моделювання системи). Прикладом такого блоку є блок постійної величини - Const. Для полегшення відмінності блоків з різними параметрами Sample Time існує опція подання блоків блок - діаграми різними кольорами. Прийняті кольорові позначення:

- чорним кольором позначаються безперервні блоки;
- червоним - дискретні з найшвидшим Sample Time;
- зеленим, синім – другі та треті по швидкості блоки;
- малиновим – блоки з постійним Sample Time;
- жовтим позначаються гібридні блоки.

Представлення часу в імітаційній моделі. При знайомстві з імітаційним експериментом необхідно представляти що він є спостереженням за поведінкою системи в деякий проміжок часу. У зв'язку з цим при розробці майже будь-якої імітаційної моделі і плануванні проведення модельних експериментів необхідно співвідносити між собою три представлення часу:

- реальний час, в якому відбувається функціонування імітованої системи;
- модельний час, в масштабі якого організовується робота моделі;
- машинний час, що відображає витрати часу ЕОМ на проведення імітації;

За допомогою механізму модельного часу вирішуються наступні завдання:

- відображення переходу модельованої системи з одного стану в інше;
- виробляється синхронізація роботи компонент моделі;
- змінюється масштаб часу функціонування досліджуваної системи;
- виробляється управління ходом модельного експерименту;
- моделюється паралельна реалізація подій в моделі.

Зміна часу з постійним кроком (Fixed step). Метод постійного кроку доцільно використовувати в тому випадку, якщо:

- події з'являються регулярно, їх розподіл в часі досить рівномірний;
- число подій велике і моменти їх появ близькі;
- неможливо заздалегідь визначити моменти появи подій.

Слід звернути увагу на те, що при моделюванні з постійним кроком результат моделювання безпосередньо залежить від величини цього кроку. Причому, якщо крок буде дуже великим, то результат, швидше за все, буде

невірним. Момент закінчення чергового кроку дуже рідко збігатиметься з реальним часом.

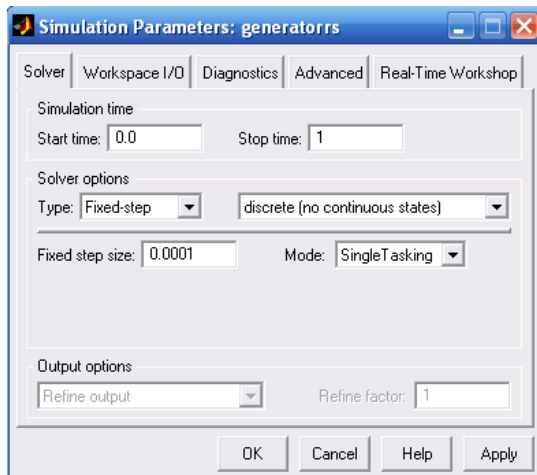


Рис.1 Меню установок імітаційної моделі

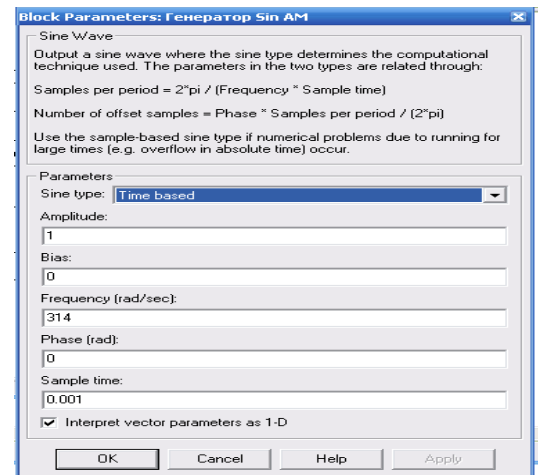


Рис.2. Діалогове вікно блоку

Встановлюється крок модельного часу в робочій області Simulink. У верхньому меню вибираємо Simulation, потім у віконці вибираємо Parameters (рис1). З'являється діалогове вікно параметрів моделювання, де можна встановити час початку моделювання *Start Time*, кінець моделювання *Stop Time*. У Solver options вибираємо Type: *Fixed step*. Нижче в рядку *Fixed step size* встановлюємо необхідне значення кроку модельного часу.

Приклад установки блоку генератора приведено на рис.2. Необхідною умовою є встановлення $Fixed\ step\ size \leq Sample\ Time$

Рекомендована література

1. Гаткин Н.Г., Геранин В.А., Карновский М.И., Красный Л.М. Помехоустойчивость типового тракта обнаружения сигналов. - К.: Техника, 1971.-204с.
2. Митько В.Б., Евтютов А.П., Гущин С.Е. Гидроакустические средства связи и наблюдения.- Л.: Судостроение, 1982.- 200 с.

3. Евтютов А.П., Митько В.Б. Примеры инженерных расчетов в гидроакустике.- Л.: Судостроение, 1981.- 256 с.
4. Шощкий Б.И. Проектирование гидролокаторов. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию по дисциплине "Гидроакустические устройства" для студентов всех форм обучения. Ч.3.- К.:КПИ, 1986.
5. Козерук С. О. Акустичні інформаційні системи. Теоретичні основи та лабораторний практикум// Навчальний посібник. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №7 від 29.03.2018 р.)
6. Козерук С. О., Коржик О.В. О Виявлення малих літальних апаратів за акустичним випромінюванням //Вісник НТУУ" КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування. – 2019. – №. 76. – С. 15-20.
7. Лазарев Ю. Matlab 5.X. Библиотека студента. – К.: Издательская группа ВНУ, 2000. – 384с.
8. Гульяев В. Визуальное моделирование в среде Matlab. Учебный курс. – С-Пб.: “Питер”, 2000. – 467с